

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 200225064

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学  
硕 士 学 位 论 文

一维半导体纳米材料的合成和表征  
Synthesis and Characterization of One-dimensional  
Semiconductor Nanomaterials

李晨

指导教师姓名: 杨 勇 教授

专业名称: 物 理 化 学

论文提交日期: 2 0 0 5 年 6 月

论文答辩时间: 2 0 0 5 年 7 月

学位授予单位: 厦 门 大 学

学位授予日期:

答辩委员会主席: 田中群

评 阅 人: 林仲华、康俊勇、谢兆雄、宓锦校

2005 年 6 月



# **Synthesis and Characterization of One-dimensional Semiconductor Nanomaterials**

*A dissertation submitted in fulfillment of the requirements for the  
degree of master of Philosophy at Xiamen University, by*

**Chen LI**

Supervisor *Prof. Yong YANG*

State Key Laboratory for Physical Chemistry of Solid Surfaces

Department of Chemistry, Xiamen University, P. R. China

JUNE, 2005

## 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日



## 目 录

## 一维半导体纳米材料的合成和表征

## Synthesis and Characterization of One-dimensional Semiconductor Nanomaterials

中文摘要	A-1
英文摘要	A-4
第一章 绪论	1
1.1 纳米材料的概述	1
1.1.1 纳米科学技术和纳米材料的基本概念和内涵	1
1.1.2 纳米材料科学的发展历程	2
1.1.3 纳米材料的特性及相关理论	4
1.1.3.1 纳米材料的基本效应	5
1.1.3.2 纳米材料的物理和化学特性	6
1.1.4 纳米材料的应用	9
1.1.5 纳米材料制备技术简介	12
1.2 气相法制备一维纳米材料	13
1.2.1 气相合成方法概述	13
1.2.1.1 物理气相沉积	14
1.2.1.2 化学气相沉积	14
1.2.2 催化气相生长方法 (Vapor-Liquid-Solid, VLS 机理)	15
1.2.3 非催化气相生长方法 (Vapor-Solid, VS 机理)	20
1.2.4 氧化物辅助生长法 (Oxide-Assisted Growth, OAG 机理)	24
1.3 一维半导体纳米材料研究简述	25
1.3.1 引言	25
1.3.2 一维硅纳米材料研究进展简述	27
1.3.2.1 合成技术	27

1.3.2.2 光谱学研究	29
1.3.2.3 发光研究	30
1.3.3 一维硫化镉纳米材料研究进展	31
1.4 本文的研究设想及主要内容	32
1.4.1 选题的背景及意义	32
1.4.2 本文的研究起因及设想	33
1.4.3 本论文的主要内容	34
参考文献	35
<b>第二章 实验和仪器方法</b>	<b>42</b>
2.1 主要的化学试剂和原料	42
2.2 材料的制备方法	42
2.2.1 氧化铝模板的制备	43
2.2.2 氧化铝模板中生长碳纳米管	44
2.2.3 硅纳米线的制备	46
2.2.3.1 金催化剂的制备	46
2.2.3.2 硅纳米线的生长	47
2.2.4 碳纳米管—硅纳米线异质结的制备	48
2.2.5 一维竹节状硅纳米材料的制备	48
2.2.6 硫化镉纳米线、纳米带的制备	49
2.3 实验的表征手段及仪器支持	50
2.3.1 透射电子显微镜和选区电子衍射	50
2.3.2 扫描电子显微镜和电子能量谱	53
2.3.3 X—射线粉末衍射	55
2.3.4 拉曼光谱表征	55
2.3.5 紫外—可见吸收光谱表征	56
2.3.6 傅立叶变换红外光谱技术	56
参考文献	57
<b>第三章 硅纳米线、碳纳米管—硅异质结的合成和表征</b>	<b>58</b>
3.1 引言	58
3.2 硅纳米线的形貌及结构表征	60
3.2.1 XRD 表征及成分分析	60
3.2.2 不同方法制备金催化剂	61
3.2.3 不同催化剂生长硅纳米线的形貌表征	62
3.2.3.1 方法 I 制备的硅纳米线的形貌表征	62
3.2.3.2 方法 II 制备的硅纳米线的形貌表征	64

3.2.3.3 方法 III 制备的硅纳米线的形貌表征	66
3.2.4 硅纳米线的非单晶结构的观察	68
3.2.4.1 硅纳米线孪晶	68
3.2.4.2 层错	70
3.3 硅纳米线的光谱表征	71
3.3.1 拉曼光谱表征	71
3.4 碳纳米管-硅异质结的合成与表征	72
3.4.1 实验设计思路	72
3.4.2 结构和形貌的表征	73
3.4.2.1 氧化铝模板及碳纳米管的形貌表征	73
3.4.2.2 碳纳米管-硅异质结的形貌表征	74
3.4.3 红外光谱表征	75
3.5 本章小结	76
参考文献	78
<b>第四章 一维竹节状硅纳米管的制备和表征</b>	<b>80</b>
4.1 引言	80
4.2 材料的结构和形貌的表征	81
4.2.1 XRD 表征	81
4.2.2 SEM 表征	82
4.2.3 TEM 和 HRTEM 表征	84
4.2.4 电子能谱分析、选区电子衍射和能谱线扫描分析	94
4.3 不同流量对产物形貌的影响	96
4.4 一维竹节状硅纳米管的生长模式	101
4.5 本章小结	104
参考文献	106
<b>第五章 硫化镉纳米带、纳米线的制备和表征</b>	<b>108</b>
5.1 引言	108
5.2 硫化镉纳米带合成条件的优化	110
5.2.1 温度和载气的选择	110
5.2.2 生长区的选择	112
5.3 硫化镉纳米带的结构和形貌的分析	114
5.3.1 XRD 表征	114
5.3.2 SEM 表征	115
5.3.3 TEM、HRTEM 表征	116
5.3.4 电子能谱分析、选区电子衍射和晶体结构分析	122
5.3.4.1 电子能谱分析	122

5.3.4.2 选区电子衍射	123
5.3.4.3 晶体结构分析	123
5.4 硫化镉纳米线的结构和形貌的分析	126
5.4.1 XRD 表征	126
5.4.2 形貌表征	127
5.4.3 选区电子衍射和晶体结构分析	129
5.5 硫化镉纳米带的光谱表征	130
5.5.1 拉曼光谱表征	130
5.5.2 紫外-可见光谱表征	131
5.6 硫化镉纳米带生长机理初探	132
5.7 本章小结	134
参考文献	136
攻读硕士学位期间发表的文章	138
致谢	139



## 摘要

### 一维半导体纳米材料的制备和表征

一维半导体纳米材料（纳米线、纳米带、纳米管）是近些年来纳米科技中的研究热点之一。由于它们在电子学、磁学、光学、力学等方面所具有的独特性质，使其在纳电子器件、纳光电子器件、化学和生物传感器、场效应晶体管和逻辑电路等领域呈现出广阔的应用前景。本文选择硅和硫化镉为研究对象，主要是因为硅是现今半导体工业和微电子技术的基础材料，而硫化镉其禁带宽度比硅略宽，属 II-VI 半导体化合物，在光电产业等方面有重要的应用前景。本论文采用气相沉积的方法制备硅纳米线、碳纳米管一硅异质结、竹节状硅纳米管以及硫化镉纳米带和纳米线等一维半导体纳米材料，通过 XRD、SEM、TEM、HRTEM、SAED 和 EDX 等手段对所制备的材料进行了详细的形貌和结构上的表征，并且对这些材料采用如 Raman、FTIR 和 UV-Vis 等光谱技术进行了初步的分析，依据有关的实验数据提出了一些新的反应机理。

以硅烷为硅源，金纳米颗粒作为催化剂，在  $470^{\circ}\text{C}$  下通过硅烷的热分解，可制备出大量硅纳米线，整个生长过程遵循气—液—固反应过程。所获得的硅纳米线直径 70 nm，长度达几百微米。在实验中，尝试了三种方法制备金催化剂颗粒：1、直接蒸干氯金酸的稀水溶液；2、AAO 模板辅助制备纳米金颗粒；3、制备金的水溶胶。我们发现，采用不同方法制得的金颗粒作为催化剂，可以得到不同形貌和结构的硅纳米线。方法一得到的硅纳米线为多晶结构，方法二得到的硅纳米线为单晶结构，且沿  $\langle 220 \rangle$  方向生长，方法三得到的硅纳米线也为单晶结构，沿  $\langle 111 \rangle$  方向生长。总得来说，采用金



溶胶的方法制备出的金颗粒作为催化剂，生长出来的硅纳米线形貌较均一，产率较高。对制备出的硅纳米线进行了 Raman 光谱的表征，并将其与单晶硅片的 Raman 谱进行了比较，发现硅纳米线的 Raman 峰 ( $286\text{ cm}^{-1}$ 、 $499\text{ cm}^{-1}$ 、 $923\text{ cm}^{-1}$ ) 比硅片的 Raman 峰明显地向低波数频移，且谱峰发生明显的宽化，这种峰的红移和宽化应该归因于硅纳米线的晶态结构的变化。尝试共用催化剂的方法制备 CNTs/Si 异质结。利用 AAO 模板，以金属 Fe 为催化剂，通过乙炔的热分解生长 CNTs，然后利用 CNTs 头端已存在的 Fe 颗粒作为催化剂进行 SiNWs 的生长。对这种异质结进行了 FTIR 谱表征，发现碳和硅有一定的化学键合作用，说明硅和碳较好的结合在一起。但目前尚不能对硅的生长进行很好的控制，还有待于实验工作的进一步深化。

以 VLS 机理作为实验的设计思路，纳米级的金颗粒为催化剂，硅烷为硅源，在温度  $470\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，压力  $1050\text{ Torr}$  下，通过硅烷的热分解首次制备出竹节状硅纳米管。通过电子显微镜分析，该一维纳米材料直径  $80\sim 120\text{ nm}$ ，长度可达几十微米，内部等距离排列着半椭球或三角锥形的空心结构，形状类似于竹节；通过电子能谱及能谱线扫描分析，进一步肯定了该材料的成分和竹节状空心结构；通过 XRD 和 SAED 分析，明确了该材料为非晶态。经过大量的电镜图像分析，我们认为该材料成核和生长主要受硅沿液滴合金表面扩散控制的。基于此，较系统地进行了不同气体流量的对产物形貌影响的实验，发现产物的形貌很大程度上决定于硅烷的流量，当硅烷流量为  $10\text{ sccm}$  时，生成大量竹节状纳米管，当流量为  $5\text{ sccm}$  时，则为完全中空的硅纳米管，当流量为  $30\text{ sccm}$  时，生成大量的硅纳米线。从经典热力学和表面张力有关理论出发，较好的阐释了竹节状硅纳米管的生长模式。导致竹节状空心形态出现的主要原因是，当硅在催化剂表面析出时，曲率半径的增加导致 Au-Si 合金液滴表面产生附加压力，这种各向异性的作用力对合金液滴进行挤压而形成空心结构，该空心结构形状与 Au-Si 合金液滴类似。

以  $\text{H}_2$  作为载气，在较低蒸发温度  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  下，通过对硫化镉粉末进行热

蒸发, 在距离炉中央 35~40 cm 处 (温度 450~350 °C) 可以收集到大量的厚约 20~30 nm, 宽约 100~200 nm, 长度可达几百个微米, 长宽比为 5~10 的硫化镉纳米带。该生长过程遵循气-固反应过程。实验表明, 在 650 °C 下, Ar 气作载气; 或在 800 °C 下, 氢气作载气均得不到产率高、形态均一产物。同时, 我们发现, 产物的形貌与其生长区的温度有很大关系, 30~35 cm 处, 为最佳生长位置。对硫化镉纳米带进行结构和形貌的分析, 发现该纳米带属于六方纤维锌矿结构, 并且为单晶结构; 通过大量的电镜观察和分析, 发现 CdS 纳米带可能具有三种生长方向, 分别是  $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$  ( $\pm [2\bar{1}\bar{1}0]$ ,  $\pm [\bar{1}2\bar{1}0]$ ,  $\pm [\bar{1}\bar{1}20]$ ),  $d=0.207\text{nm}$ ;  $\langle 01\bar{1}0 \rangle$  ( $\pm [01\bar{1}0]$ ,  $\pm [10\bar{1}0]$ ,  $\pm [1\bar{1}00]$ ),  $d=0.358\text{nm}$ ;  $\pm [0002]$ ,  $d=0.337\text{nm}$ 。其中以  $\pm [0002]$  方向为最多, 这是符合晶体生长的最低表面能原理的。以 Au 颗粒为催化剂, 通过 VLS 过程, 以金颗粒作为催化剂, 可制备出来 CdS 纳米线, CdS 纳米线的生长温度比 CdS 纳米带的略高, 结构仍然为六方纤维锌矿结构, 并且为单晶结构, 不同的是 CdS 纳米线一致地沿  $[0002]$  方向生长。最后, 基于大量的电镜观察, 我们以位错理论为基础, 对 CdS 纳米带的生长机理进行初步了解释。

**关键词:** 一维半导体纳米材料; 气-液-固机理 (过程); 气-固机理 (过程); 硅; 纳米线; 竹节状; 硫化镉; 纳米带;



## Abstract

### Synthesis and Characterization of One-dimensional Semiconductor Nanomaterials

---

One-dimensional semiconductor nanomaterials (nanowires, nanobelts, nanotubes) is a new class of nanomaterials that have attracted a lot of interests in the last few years. These nanomaterials have been demonstrated to exhibit superior electrical, optical, mechanical and thermal properties, and can be used as fundamental building blocks in nanoscale science and technology, ranging from chemical and biological sensors, field effect transistors, to logic circuits. The research object in this thesis is to synthesize some novel one-dimensional nanomaterials. It is well known that silicon is one of the dominant material in semiconductor and microelectronics industries. In addition, CdS is one of the most important group II-VI semiconductor compounds. Silicon nanowires (SiNWs), CNTs-silicon heterojunctions, bamboo-like silicon nanotubes, CdS nanobelts and nanowires were fabricated successfully by using vapor deposition method. The morphologies, structures and composition of these nanomaterials synthesized were investigated in detail by using XRD, SEM, TEM, HRTEM, SAED and EDX techniques. In addition, Raman, FTIR and UV-Vis spectrum of these nanostructured materials were also carried out.

SiNWs were synthesized by chemical vapor deposition of  $\text{SiH}_4$  at  $470^\circ\text{C}$ . The results showed us that SiNWs have a diameter of about 70 nm and a length of several hundred of micrometers. The whole growth process follows

Vapor-Liquid-Solid process. In this work, three different methods of fabricating gold nanoparticles were performed. It is found that the SiNWs formed by using gold catalyst which were fabricated by different methods have different morphology and structure. The SiNWs synthesized by methods I, II and III are multi-crystalline, single crystal which grow along  $\langle 200 \rangle$  direction and single crystal which grow along  $\langle 111 \rangle$  direction, respectively. Generally speaking, SiNWs can be synthesized with a higher yield and uniform sizes by method III (gold nanoparticles were prepared by gold gel). Comparing with that of silicon chip, the Raman-scattering spectra peaks ( $286\text{ cm}^{-1}$ ,  $499\text{ cm}^{-1}$ ,  $923\text{ cm}^{-1}$ ) of SiNWs were found to be red-shifted and broaden, which should be ascribed to crystal structural change of SiNWs. CNTs-Si heterojunctions were fabricated by a catalytic two-step growth method using the common catalyst of iron, which was electro-deposited into the bottom area of an anodic aluminum oxide (AAO) templates as a catalyst for growing CNTs. Then Fe is also the catalyst for growth of silicon nanostructures. It can be revealed from FTIR spectrum that CNTs and silicon have a connection by chemical bond. However, the morphology and size of silicon nanostructures have not yet been well controlled.

Bamboo-like silicon nanotubes have been synthesized, for the first time, by simple pyrolysis of silane under gold catalysis at the temperature of  $470\text{ }^{\circ}\text{C}$  and the pressure of 1050 torr. It can be shown from electron microscopy that bamboo-like silicon nanotubes have the length of several tens of micrometers and the diameters of  $80\sim 120\text{ nm}$ . These materials have the hollow structures with dome-shaped (ellipse or triangle shaped) interiors alining along the axes periodically. It can be revealed for XRD and SAED pattern that bamboo-like silicon nanotubes is amorphous. After the analysis of a great deal of TEM and HRTEM images, we believed that the nucleation and growth of them is mainly

determined by the diffusion of silicon along the surfaces of liquid alloy droplet. Thus the effects of silane flow rate on growth of silicon nanomaterials were carried on in the experiment. We found the gas flow rate have a great effect on the morphology of products: when gas flow rate is 10 sccm, the bamboo-like silicon nanotubes were obtained; when gas flow rate is 5 sccm, the silicon nanotubes with completely hollow interiors were obtained; when gas flow rate is 30 sccm, a large scale of the solid SiNWs were obtained. Based on the theory of thermodynamics and surface tension, a growth model is proposed for growth of bamboo-like silicon nanotubes: when the Au-Si liquid droplet becomes supersaturated, silicon growth begins at some nucleation sites. At this time, the radius of curvature of one side on the droplet becomes smaller than another side, which leads to the formation of the additional pressure on the gold surfaces. Thus the liquid droplets are squeezed away by these anisotropic pressures, leaving a dome-shaped (similar to geometry of Au-Si alloy particles) void in the formed nanostructures.

Large-scale CdS nanobelts were achieved by a simple vapor-solid process based on thermal evaporation of CdS powders at the lower temperature  $650^{\circ}\text{C}$ , which employed pure  $\text{H}_2$  as a carrier gas. The synthesized CdS nanobelts which are about 100~200 nm wide, about 20~30 nm thick have the length up to several hundreds of micrometers and width-to-thickness ratio of about 5~10. Besides, we found that the deposition zone (growth temperature) of CdS nanobelts greatly influences the morphology and yield of CdS nanobelts. The zone which is 30~35 cm ( $450\sim 350^{\circ}\text{C}$ ) away from the center of furnace is the most suitable place to grow CdS nanobelts. CdS nanobelts exhibit the single crystal characteristic which belongs to hexagonal wurtzite structure. After the structural analysis of CdS nanobelt, it can be found that CdS has three types of

fast growth directions:  $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$  ( $\pm [2\bar{1}\bar{1}0]$ ,  $\pm [\bar{1}2\bar{1}0]$ ,  $\pm [\bar{1}\bar{1}20]$ ),  $d=0.207\text{nm}$ ;  $\langle 01\bar{1}0 \rangle$  ( $\pm [01\bar{1}0]$ ,  $\pm [10\bar{1}0]$ ,  $\pm [1\bar{1}00]$ ),  $d=0.358\text{nm}$ ;  $\pm [0002]$ ,  $d=0.337\text{nm}$ . Among them,  $[0002]$  is main growth direction, which is consistent with the lowest surface energy theory. CdS nanowires were synthesized by VLS process under the given experimental conditions which is similar to that of nanobelts. Au nanoparticles can be found at the tip of CdS nanowires. All nanowires grow along  $[0002]$  direction, which is different from nanobelts. These single crystal CdS tend to maximize the areas of the  $\{2\bar{1}\bar{1}0\}$  and  $\{01\bar{1}0\}$  facets because of the lower energy. Finally, a growth mechanism based on the dislocation theory for the growth of CdS nanobelts was proposed, which is partly proved by some observation of TEM and HRTEM.

**Keywords:** One-dimensional Semiconductor Nanomaterials; Vapor-Liquid-Solid mechanism(process); Vapor-Solid mechanism(process); Silicon; Cadmium sulphide; nanowires; nanobelts; bamboo-like.



## 第一章 绪论

### 1.1 纳米材料概述

#### 1.1.1 纳米科学技术和纳米材料的基本概念和内涵

著名科学家爱因斯坦曾经说过：“未来科学的发展无非是继续向宏观和微观世界进军。”所谓宏观世界，是指所研究的对象尺寸很大，如地球、行星，乃至太阳系、银河系等天体。所谓微观是指构成世界万物的分子、原子以及原子内部的原子核、电子、质子等。在宏观物体于原子之间的领域，还有许多认识有待深化，许多新的现象有待发现，新的理论有待建立。这是因为当物质小到 1 至 100 纳米 ( $10^{-9}$  米 $\sim 10^{-7}$  米) 时，由于量子效应、局限效应以及巨大的表面效应，使物质世界的很多性质发生质变，呈现出许多既不同于宏观物体，也不同于单个孤立原子的奇特现象。纳米科学技术 (Nanometer Scale Science and Technology) 就是新建立起来的研究这一尺度范围内的科学技术<sup>[1]</sup>。严格地讲，纳米科技是由尺寸在 0.1~100nm 之间的物质组成的体系运动规律和相互作用以及可能的实际应用中的技术问题的科学技术。它主要包括：(1) 纳米体系的物理学；(2) 纳米化学；(3) 纳米材料学；(4) 纳米生物学；(5) 纳米电子学；(6) 纳米加工学；(7) 纳米力学。在纳米科技的各个分支学科的研究中，纳米电子学 (Nanoelectronics) 有着双重的意义：一是在现有的电子器件基础上把微电子器件的尺寸推进到纳米范畴，另一则是发展新原理的纳米器件<sup>[2]</sup>。

纳米材料<sup>[1-2]</sup>一般泛指 1~100 nm 的颗粒。而从广义上说，纳米材料指的是在三维空间中至少有一维处于纳米尺度范围或由它们作为基本单元构

成的材料。如果按维数划分, 纳米材料的基本结构单元可以分为三类: (1) 零维, 指在空间三维尺度均在纳米尺度, 如纳米尺度的粒子、团簇等; (2) 一维, 指在空间有两维处于纳米尺度, 如纳米丝、纳米棒、纳米管等; (3) 二维, 指在空间有一维处于纳米尺度, 如超薄膜、多层膜、超晶格等。因为这些单元往往具有量子性质, 所以对零维、一维和二维的基本单元分别又有量子点、量子线和量子阱之称。纳米材料由于其粒子的尺寸进入到纳米量级, 使其具有不同于传统固体材料的特殊性质, 而且具有不同纳米结构单元的纳米材料的物理和化学性质也完全不同。

构成纳米薄膜、多层膜以及纳米粒子的基本结构单元大致可分为以下几种: (1) 原子团簇<sup>[3]</sup>是一类新发现的化学物种, 是在20世纪80年代才发现的, 原子团簇是指几个至几百个原子聚集体(粒径小于或等于1 nm), 如 $Cu_nS_m$ ,  $C_nH_m$  ( $n$ 和 $m$ 都是整数)和碳簇 $C_m$  ( $C_{60}$ ,  $C_{70}$ 等); 原子团簇不同于具有特定大小和形状分子、分子间以弱的结合力结合的松散分子团簇和周期性很强的晶体, 原子团簇的形状可以多种多样, 它们尚未形成规整的晶体, 除了惰性气体外, 它们都是以化学键紧密结合的聚集体。(2) 纳米粒子: 纳米粒子是指颗粒尺寸为纳米量级的超细微粒, 它的尺度大于原子簇(Cluster), 小于通常的微粒; 纳米粒子一般在1~100 nm之间, 是肉眼和一般显微镜看不见的微小微粒。(3) 纳米管<sup>[4]</sup>、纳米棒<sup>[5]</sup>、纳米线<sup>[6]</sup>和同轴纳米电缆<sup>[7]</sup>, 纳米管是由纳米片“卷起来”形成圆筒形的纳米结构; 准一维实心的纳米材料是指在两维方向上为纳米尺度, 长度比上述两维方向上的尺度大的多, 甚至为宏观量的新型纳米材料, 纵横比(长度与直径的比率)小的称为纳米棒, 纵横比大的称为纳米丝或纳米线; 同轴纳米电缆是指芯部为半导体或导体的纳米线, 外包敷异质纳米壳体(导体或非导体), 外部的壳体和芯部线是共轴的。

### 1.1.2 纳米材料科学的发展历程

人类对宏观天体和微观粒子的研究和探索从来没有停止过, 但开始关注



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库